УДК 614.8.086:628.51:621.791
DOI 10.23947/2541-9129-2017-2-2-11

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ INNERSHIELD NR-207, КАК ФАКТОРА, ВЛИЯЮЩЕГО НА САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАБОТЫ СВАРЩИКА

Д. В. Рогозин, Ю. И. Булыгин, О. О. Забара

Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

dim-1972@ya.ru,
bulyur_rostov@mail.ru,
oksana_zabara@mail.ru

Химический анализ наплавленного металла порошковой проволоки NR-207 методом оптико-эмиссионной спектрометрии позволяет определить влияние состава порошковой проволоки NR-207 на выделение и химический состав сварочного аэрозоля. Химический состав наплавленного металла является комплексным показателем химического состава металла оболочки и наполнителя проволоки. В рабочей зоне сварщика при выполнении сварочных работ проволокой NR-207 выделяются вредные вещества — соединения марганца, фтора, алюминия, никеля, а также фторсодержащие газы.

Ключевые слова. Порошковая проволока, сварочный аэрозоль, химический состав, наплавка, химический анализ.

Введение. При строительстве магистральных трубопроводов сварку кольцевых стыков труб, согласно нормативным документам, выполняют самозащитной порошковой проволокой Innershield NR-207 компании Lincoln Electric.

Самозащитная порошковая проволока NR-207 — сварочный материал, представляющий собой стальную оболочку, заполненную порошкообразным наполнителем. Наполнитель порошковой проволоки состоит

UDC 614.8.086:628.51:621.791
DOI 10.23947/2541-9129-2017-2-2-11

STUDY OF CHEMICAL COMPOSITION OF FLUX-CORED WIRE DEPOSITED METAL INNERSHIELD NR-207 AS A FACTOR INFLUENCING SANITARY-AND-HYGIENIC WORKING CONDITIONS OF THE WELDER

D. V. Rogozin, J. I. Bulygin, O. O. Zabara

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federation

dim-1972@ya.ru,
bulyur_rostov@mail.ru,
oksana_zabara@mail.ru

Chemical analysis of flux-cored wire NR-207 deposited metal by a method of optical emission spectrometry makes it possible to determine the influence of the composition of flux-cored wire NR-207 on the emission and chemical composition of the welding aerosol. Chemical composition of deposited metal is a complex index of chemical composition of metal cover and wire core. Such dangerous substances as compounds of manganese, fluorine, aluminum, nickel, and fluorinated gases are released during welding with wire NR-207 into the working space of a welder.

Keywords: Flux cored wire, welding aerosol, chemical composition, welding deposit, chemical analysis

Introduction. According to normative documents self-shielded flux-cored wire NR-207 from Lincoln Electric company is used in welding of ring pipe joints during the construction of main pipelines.

Self-shielded flux-cored wire NR-207 is a welding material of a steel cover filled with powder filler. The core of the flux-cored wire comprises the following elements: gas-forming

из следующих элементов: газообразующих элементов, направленных на защиту жидкого металла электродных капель и сварочной ванны от воздействия воздушной среды (целлюлоза, мрамор и карбонаты кальция, натрия, магния); шлакообразующих — соединения на основе оксидов, образуют шлаковую корку для защиты сварочной ванны (флюорит, рутил, алюмосиликаты и др.); элементы раскислители, связывают и выводят кислород из сварочной ванны (ферромарганец, ферротитан); металлические составляющие, обеспечивающие повышения производительности наплавки, вводятся в виде металлического порошка и других соединений железа.

Сварка кольцевых стыков газо- и нефтепроводов требует соблюдения особых мер, связанных с созданием замкнутых пространств без доступа воздействия внешних факторов окружающей среды (прежде всего кислорода). В результате сварщик при выполнении сварочных работ находится в закрытых пространствах и замкнутых ограниченных объемах (герметичные кабины на магистральных трубопроводах), в условиях, где невозможно применение традиционных видов вентиляции. В таких условиях происходит быстрое нарастание содержания вредных веществ, которое также усугубляется повышенным тепловым облучением и ростом температуры среды. Высокая температура сварочной дуги способствует интенсивному окислению и испарению металла, флюса, легирующих элементов. Окисляясь кислородом воздуха, эти пары образуют мелкодисперсную пыль, а возникающие при сварке конвективные потоки уносят газы и пыль вверх, приводя к большой запыленности и загазованности производственных помещений.

Сварочная пыль — мелкодисперсная, скорость витания ее частиц не более 0,08 м/с, оседает она незначительно, поэтому распределение ее по высоте помещения в большинстве случаев равномерно, что

elements for protection of liquid metal of electrode drops and the welding pool from air exposure (cellulose, marble and carbonates of calcium, sodium, magnesium); slag-forming elements - compounds based on the oxides form a slag coverage to protect the welding pool (fluorite, rutile, alumosilicates, etc.); deoxidant elements, they fix and remove oxygen from the welding pool (ferromanganese, ferrotitanium); metal components that provide deposition rates increase, they are introduced in the form of metal powder and other iron compounds.

The welding of ring joints of gas and oil pipelines requires compliance with special measures to create a closed space without exposure to external environmental factors (especially oxygen). As a result, the welder welds in confined and enclosed space (airproof cabins on the main pipelines), in circumstances where it is impossible to use traditional forms of ventilation. In such conditions there is a rapid increase in the content of harmful substances, which is also worsened by high heat radiation and increasing temperature of the environment. High temperature of a welding arc promotes the oxidation and evaporation of metal, flux, alloying elements. Oxidized in the air, this vapor forms a fine dust, and arising during welding convection currents lift the gases and dust, resulting in a large dust content and gas contamination in production areas.

Welding dust is fine, with the speed of its particles of not more than 0.08 m/s, it settles slightly, so the distribution to the height of the room in most cases is even, making it extremely difficult to control. The percentage of analyses of working zone air samples with MPC exceeding on fumes and gases reaches 17.8 per

чрезвычайно затрудняет борьбу с ней. Процент исследований проб воздуха рабочей зоны с превышением ПДК на пары и газы достигает 17,8%, на пыль и аэрозоли — 22,9%. Процент исследований с превышением ПДК веществ 1 и 2-й группы опасности намного выше паров и газов (69,7% — пыль и аэрозоли — 23,8%).

Сварочный аэрозоль состоит из окислов железа, марганца, хрома, двуокиси кремния и других токсичных веществ, входящих в состав сварочных изделий и сварочных материалов. Сварочный аэрозоль встречается в твердой и газовой фазе. Твердая составляющая сварочного аэрозоля чаще всего образуется в результате испарения расплавленного металла, пары выделяются в нижней части столба дуги и выносятся газовыми потоками в окружающую атмосферу, где окисляются и конденсируются в твердые частицы. Газовая составляющая сварочного аэрозоля — смесь газов входящих в состав сварочных материалов, образующаяся при термической диссоциации газошлакообразующих компонентов.

Интенсивность выделения сварочного аэрозоля в газовой и твердой фазе происходит за счет диссоциации химических компонентов, вступающих в реакцию при высокой температуре. При рассеивании образуются мелкие частицы токсичной мелкодисперсной пыли и загазованность пространства.

Систематическое воздействие сварочного аэрозоля, при отсутствии необходимых средств защиты охраны труда, может вызвать у работающих профессиональные заболевания легких, а также центральной нервной системы.

Постановка задачи. Для изучения последовательного выделения сварочного аэрозоля необходимо знать химический состав основного и сварочного материала. Химический состав самозащитной порошковой проволоки Innershield NR-207 является коммерческой тайной компании Lincoln Electric. Для детального изучения химического состава недостаточно знать элементы оболочки или наполнителя. Таким

cent, on dust and aerosols it is up to 22.9%. The percentage of analyses with MPC exceeding on substances of the 1st and 2nd hazard group is much higher than gases and vapors (69.7% - dust and 23.8 % - aerosols).

Welding fumes consist of iron oxides, manganese, chromium, silicon dioxide and other toxic substances included in the composition of the welding products and welding materials. Welding fumes can be found in solid and gas phases. The solid component of welding aerosol is mostly formed by evaporation of molten metal, the vapor is released from the lower part of the arc column and follow gas flows into the atmosphere, where it is oxidized and condensates in solids particles. The gas component of welding aerosol is the gas mixture of the welding materials, which is formed during thermal dissociation of gas-slag-forming components.

The intensity of welding aerosol emission in the gas and solid phase occurs due to the dissociation of chemical components which are reactive at high temperature. Small particles of toxic dust and fumes are formed as a result of dispersion.

Systematic exposure to welding aerosol in the absence of necessary protection equipment can cause occupational lung disease as well as diseases of central nervous system.

Statement of the problem. To study the sequential generation of welding fumes it is necessary to know chemical composition of the base and welding material. Chemical composition of self-shielded flux-cored wire Innershield NR-207 is a commercial secret of the Lincoln Electric company. For a detailed study of chemical composition it is not enough to know cover elements or core ones. Thus, the

образом, главной задачей является определение химического состава наплавленного металла. При выявлении компонентов, находящихся в составе оболочки, определяется процесс легирования, раскисления, рафинирования металла. Данные по составу шихты не предоставляются, таким образом, выявление состава шихты определяется косвенно.

Цель исследования. Целью данной работы является изучение влияния состава порошковой проволоки NR-207 на выделение и химический состав сварочного аэрозоля путем определения химического состава наплавленного металла, как комплексного показателя химического состава металла оболочки и наполнителя проволоки. Работа выполняется в рамках исследования по обеспечению безопасности работы сварщиков в стесненных условиях [1].

Экспериментальная часть. Экспериментальное определение химического состава наплавленного металла порошковой проволокой Innershield NR-2017 выполняли в соответствии с требованиями нормативно-технической документацией [2, 3, 4]. С этой целью наплавку валиков осуществляли в нижнем положении полуавтоматом на пластину из стали марки Ст3пс по ГОСТ 380-88. Размеры пластины составляли 150х50 мм и толщиной 14 мм. Поверхность пластины, на которую проводилась наплавка, была зачищена от окалины и ржавчины на фрезерном станке.

Ширина наплавки 30 мм, что составляло 4 валика; количество наплавляемых слоев — 8; толщина наплавки составила 16 мм. Каждый последующий валик наплавлялся в направлении противоположном предыдущему. При наплавке последующего валика температура пластины или слоя не превышали 150 ^{0}C, с целью недопущения перегрева основного и наплавленного металла и возникновения высокого уровня остаточных сварочных деформаций. Контроль температуры проводили контактным

main task is to determine the chemical composition of the weld metal. During the analysis of components in the composition of the cover, such processes as alloying, deoxidation, refining of the metal are used. Data on the composition of charging material is not available, thus the analysis of the charging material composition is done indirectly.

The purpose of the study. The aim of this work is to study the influence of the composition of flux-cored wire NR-207 on emission and chemical composition of welding aerosol by analysis of the chemical composition of the weld metal, as a complex index of chemical composition of metal cover and wire core. The work is a part of the research on occupational safety of welders in cramped conditions [1].

Experimental part. Experimental analysis of chemical composition of deposited metal fluxed cored wire NR-2017 was performed in accordance with the requirements of normative-technical documentation [2, 3, 4]. To do this, bead welding was carried in the lower position of the machine on a plate of steel St3ps by GOST 380-88. The dimensions of the plate were 150x50 mm and thickness was 14 mm. The surface of the plate, on which the welding was carried out was cleaned from scale and rust on the milling machine.

Welding surface is 30 mm, which is 4 beads; the number of the deposited layers is 8 mm; welding thickness is 16 mm. Each subsequent bead was welded in the direction opposite to the previous one. At welding a subsequent bead the temperature of the plate or layer did not exceed 150 ^{0}C, to prevent overheating of main and weld metal and the emergence of a high level of residual welding deformations. Temperature control was performed using a probe thermometer. The

термометром. Качество наплавляемых валиков оценивали визуальным контролем.

Режимы сварки, при которых производилась наплавка, рассчитывали по методике [5] и корректировали в соответствии с требованиями действующих нормативно-технических документов [6, 7]. Выбирались режимы, обеспечивающие минимальную глубину проплавления. Наплавка валиков осуществлялась на следующих режимах: диаметр проволоки 1,7 мм, постоянный ток прямой полярности, скорость подачи проволоки 95 дюйм/мин., напряжение на дуге 21В, вылет электрода 10 мм, угол наклона горелки 30 градусов. Результат наплавки представлен на рисунке 1.

quality of the beads was evaluated by visual inspection.

The welding conditions were calculated by the method of [5] and corrected in accordance with the requirements of normative-technical documents [6, 7]. The modes, providing the minimum depth of penetration were selected. Bead welding was carried out at the following modes: wire diameter is 1.7 mm, DC of straight polarity, the wire feed speed is 95 inch/min, arc voltage is 21V, electrode extension is 10 mm, angle of the burner tilt is 30 degrees. The result of the welding is shown in figure 1.

Рис. 1. Наплавка порошковой проволокой Innershield NR-207.

Fig. 1. Flux-cored wire NR-207 welding.

Наплавку выполняли с использованием сварочного оборудования фирмы Lincoln Electrik (США): источник питания — универсальный тиристорный выпрямитель Idealarc DC 400, механизм подачи проволоки LN-23P в комплекте с адаптером К-350, сварочная горелка К-345-10. Сварочное оборудование представлено на рис. 2.

The welding was performed using welding equipment from Lincoln electric (USA): the power supply is a universal thyristor rectifier Idealarc DC 400, wire feeder LN-23P together with the adapter K-350, welding torch K-345-10. The welding equipment is shown in Fig. 2.

Рис. 2. Сварочное оборудование Lincoln Electrik, используемое для наплавки проволокой Innershield NR-207.

Fig. 2. Welding equipment form Lincoln electric, used for wire NR-207 welding.

Для химического анализа поверхность наплавленного металла была обработана фрезерованием с обеспечением шероховатости поверхности 80 мкм по ГОСТ 2789-73. Ширина анализируемого участка составляла не менее 15 мм в соответствии с требованиями и возможностями оборудования. Контроль анализируемой поверхности выполнялся визуально с использованием лупы 5Х увеличения по ГОСТ 25706-83 на отсутствие раковин, пор и включений. Длина неиспользуемого участка в начале и конце наплавке составляла 20 мм.

Химический анализ наплавленного металла определяли на трех образцах, на каждом образце выполняли три замера на различных участках с использованием искрового оптико-эмиссионного спектрометра Q8 MAGELLAN компании Bruker Elemental (Германия). На рисунке 3 представлен образец для химического анализа наплавленного металла.

For chemical analysis the surface of the deposited metal was milled to reach the roughness of the surface of 80 μm according to GOST 2789-73. The width of the analyzed area was not less than 15 mm in accordance with the requirements and capability of the equipment. The control of the analyzed surface was performed visually using a magnifying glass with 5X magnification according to GOST 25706-83 to prove the absence of shells, pores and inclusions. The length of the unused part at the beginning and the end of welding was 20 mm.

The chemical analysis of weld metal was conducted on three samples; on each sample were conducted three measurements at different places using spark optical emission spectrometer Q8 MAGELLAN Bruker Elemental (Germany). Figure 3 presents a sample for chemical analysis of weld metal.

Рис. 3. Образец для химического анализа наплавленного металла проволокой Innershield NR-207.

Fig. 3. A sample for chemical analysis of welded metal by flux-cored wire NR-207.

Химический состав наплавленного металла порошковой проволокой NR-207 диаметром 1,7 мм по результатам измерений представлен в таблице 1.

The chemical composition of welded metal by flux-cored wire NR-207 with a diameter of 1.7 mm according to the results of measurements is presented in table 1.

Таблица 1
Table 1

Химический состав наплавленного металла проволокой NR-207
Chemical composition of weld metal wire, NR-207

C, (%)	Si, (%)	Mn, (%)	P, (%)	S, (%)	Cr, (%)	Mo, (%)	Ni, (%)	Al, (%)	Co, (%)
0.085	0.254	1.233	0.043	0.034	0.044	0.045	1.146	~1.029	0.018
Cu, (%)	Nb, (%)	Ti, (%)	V, (%)	W, (%)	Sn, (%)	B, (%)	N, (%)	Fe, (%)	
0.044	0.0051	0.0023	0.0078	<0.010	0.047	0.0051	~0.019	95.93	

Анализ экспериментальных данных. Как видно из таблицы 1 в наплавленном металле порошковой проволокой NR-207 основными компонентами можно считать элементы содержанием более 1 %. Это марганец, никель и алюминий, именно они определяют состав и свойства наплавленного металла. Содержание алюминия и кремния в наплавленном металле позволяет судить о том, что в наполнителе проволоки NR-207 содержатся алюмосиликаты и эту проволоку можно отнести к покрытию карбонатно-флюоритного типа. Покрытия данного типа представляют собой систему CaO – CaF_2 – Al_2O_3 – TiO_2 [8]. Оксид кальция (CaO) является основным оксидом, обладает хорошими

Analysis of experimental data. As it can be seen from table 1 the elements of content more than 1 % may be considered as main components in the deposited metal by flux-cored wire NR-207. They are manganese, nickel and aluminum, which determine the composition and properties of the deposited metal. The content of aluminum and silicon in the deposited metal makes it possible to think that flux-cored wire NR-207 core contains aluminosilicates and this wire can be attributed to carbonate-fluorite coating type. Coatings of this type are the system CaO – CaF2 – Al2O3 – TiO2 [8]. Calcium oxide (CaO) is the main oxide, which has good refining properties,

рафинирующими свойствами, выводит из наплавленного металла серу и фосфор, облегчая их переход в шлак. CaO не растворим в металле, поэтому не обнаружен в наплавленном металле. Фтористый кальций (CaF_2) (флюорит, вводится в виде плавикового шпата) — отличный разжижитель шлаков и хорошо связывает водород, что снижает пористость и улучшает свойства наплавленного металла. Амфотерный оксид (Al_2O_3) реагирует с кислыми и основными оксидами, способствует повышению вязкости шлака. Диоксид титана (TiO_2) относится к кислотным оксидам, понижает вязкость шлака, обладает высокой газопроницаемостью. MnO и NiO относятся к основным оксидам, образуют комплексные соединения с кислыми оксидами, такими как диоксид кремния (SiO_2).

Выводы. Анализ химического состава наплавленного металла, выполненного самозащитной порошковой проволокой Innershield NR-207, позволяет сделать вывод, что при сварке углеродистых и низколегированных сталей с использованием исследуемого сварочного материала в рабочей зоне сварщика могут образовываться основные компоненты твердой составляющей сварочного аэрозоля, токсичные соединения марганца, фтора, алюминия и никеля. В качестве газообразных составляющих сварочного аэрозоля —токсичные газы фтористый водород (HF) и тетрафторид кремния (SiF_4). В воздушной среде рабочей зоны сварщика уровень этих токсичных элементов превышает предельно-допустимую концентрацию [9, 10].

removes sulfur and phosphorus from weld metal, facilitating their transition into the slag. CaO is not soluble in the metal; therefore, it was not detected in the deposited metal. Calcium fluoride (CaF2) (fluorite, is introduced in the form of fluorspar) is a great diluent of slag and binds hydrogen quite successfully, which reduces the porosity and enhances properties of the deposited metal. Amphoteric oxide (Al2O3) reacts with acidic and basic oxides, contributes to the viscosity of the slag. Titanium dioxide (TiO2) belongs to acidic oxides, lowers the viscosity of the slag, it has high gas permeability. MnO and NiO are the main oxides and form complex compounds with acid oxides, such as silicon dioxide (SiO2).

Conclusion. The analysis of chemical composition of welded metal by self-shielded flux-cored wire NR-207 leads to the conclusion that welding of carbon and low alloy steels using welding materials of the investigated material in the working zone of a welder can form the main components of welding aerosol solid component, toxic compounds of manganese, fluorine, aluminum and nickel. As for gaseous components of welding fumes, they are toxic fumes of hydrogen fluoride (HF) and silicon tetrafluoride (SiF4). In the working zone air of a welder the level of these toxic elements exceeds the maximum permissible concentration [9, 10].

Библиографический список.

1. Методология и принципы поиска решений, обеспечения безопасности работы сварщиков в стесненных условиях и на труднодоступных объектах / Д. А. Корончик [и др.] // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2016. — Т.12. — №3 (86). — С.141–147.

References:

1. Koronchik, D.A. et al. Metodologiya i printsipy poiska resheniy, obespecheniya bezopasnosti raboty svarshchikov v stesnennykh usloviyakh i na trudnodosupnykh ob’ektakh. [Methodology and principles to find solutions that ensure operational safety of welders in cramped conditions and on objects which are difficult to access.] Vestnik of DSTU, 2016, vol. 12, no. 3 (86), pp. 141–147

2. ГОСТ 26271-84. Проволока порошковая для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей. Общие технические условия. [Электронный ресурс] : Режим доступа : vsegost.com/Catalog/20/20771.shtml

3. ГОСТ 7122-81. Швы сварные и металл наплавленный. Методы отбора проб для определения химического состава. [Электронный ресурс] : Режим доступа : vsegost.com/Catalog/22/22183.shtml

4. AWS A5.20/A5.20M:2005. Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding. [Электронный ресурс] : Режим доступа : https://global. ihs.com/doc_detail.cfm?...AWS%20A5...20M

5. Рыбин, В. А. Методика определения режимов сварки порошковыми проволоками / В. А. Рыбин, А. А. Евдокимов // Сварка и диагностика. — 2015. — № 4. — С. 26 – 30.

6. Стандарт организации СТО Газпром 2-2.2-136-2007. Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промысловых и магистральных газопроводов. Часть I. [Электронный ресурс] — Москва, 2007. Режим доступа : https : // www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_ normativ/54/54452/

7. Руководящий документ РД-25.160.00-КТН-011-10. Сварка при строительстве и ремонте магистральных нефтепроводов. [Электронный ресурс] : — Москва, 2010. Режим доступа : www.kvazar-ufa.com/library109.html

8. Порошковые проволоки для электродуговой сварки. Каталог справочник / И. К. Походня [и др.]. — Киев : Наук. Думка, 1980. — 180 с.

9. Металлургия дуговой сварки: Процессы в

(in Russian).

2. GOST 26271-84. Provoloka poroshkovaya dlya dugovoy svarki uglerodistykh i nizkolegirovannykh stavey. Obshchie tekhnicheskie usloviya. [GOST 26271-84. Flux-cored wire for arc welding of carbon and low-alloy steels. General technical conditions.] Available at: vsegost.com/Catalog/20/20771.shtml (in Russian).

3. GOST 7122-81. Shvy svarnye i metal naplavlennyy. Metody otbora prob dlya opredeleniya khimicheskogo sostava. [GOST 7122-81. Welds and deposited metal. Methods of sampling for analysis of chemical composition.] Available at: vsegost.com/Catalog/22/22183.shtml (in Russian).

4. AWS A5.20/A5.20M:2005. Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding. Available at: https://global. ihs.com/doc_detail.cfm?...AWS%20A5...20M

5. Rybin, V.A., Evdokimov, A.A. Metodika opredeleniya rezhimov svarki poroshkovymi provolokami. [Methods of determining of flux-cored wire welding modes.] Svarka i diagnostika, 2015, no. 4, pp. 26 – 30 (in Russian).

6. Standart organizatsii STO Gazprom 2-2.2-136-2007. Instruktsiya po tekhnologiyam svarki pri stroitel’stve i remonte promyslovykh i magistral’nykh gazoprovodov. Chast’ 1. [The organization standard STO Gazprom 2-2.2-136-2007. Instruction on welding technologies at construction and repair of main pipelines. Part I.] Moscow, 2007. Available at: https : // www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/54/54452/ (in Russian).

7. Rukovodyashiy document RD-25.160.00-KTN-011-10. Svarka pri stroitel’stve i remonte magistral’nykh nefteprovodov. [Directive document RD-25.160.00-KTN-011-10. Welding at construction and repair of oil pipelines.] Moscow, 2010. Available at: www.kvazar-ufa.com/library109.html (in Russian).

8. Pohodnya, I.K. et. al. Poroshkovye provoloki dlya elektrodugovoy svarki. Katalog spravochnik. [Flux-cored wire for electric arc welding. Directory.] Kiev: Nauk. Dumka, 1980, 180 p. (in Russian).

9. Pohodnya, I.K. et. al. Metallurgiya dugovoy svarki: Protsessy v duge i plavlenie elektrodov.

дуге и плавление электродов / И. К. Походня [и др.]. — Киев : Наук. Думка, 1990. — 224 с.

10. Паршин, С. Г. Наноструктурированные и активирующие материалы для дуговой сварки / С. Г. Паршин. — Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. — 642 с.

[Metallurgy of arc welding: Processes in arc and electrodes burning-off.] Kiev: Nauk. Dumka, 1990, 224 p. (in Russian).

10. Parshin, S.G. Nanostrukturirovannye i aktiviruyushchie materialy dlya dugovoy svarki. [Nanostructured and activating materials for arc welding.] Saint Petersburg, Izd-vo Politekhn. Un-ta., 2013, 642 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 09.03.2017
Сдана в редакцию 10.03.2017
Запланирована в номер 20.03.2017

Received 09.03.2017
Submitted 10.03.2017
Scheduled in the issue 20.03.2017

Рогозин Дмитрий Викторович,
кандидат технических наук, доцент
Заведующий кафедрой «Машины и автоматизация сварочного производства»
Донского государственного технического университета
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)
dim-1972@ya.ru

Булыгин Юрий Игоревич,
доктор технических наук, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)
bulyur_rostov@mail.ru

Забара Оксана Олеговна,
магистрант кафедры «Машины и автоматизация сварочного производства»
Донского государственного технического университета
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)
oksana_zabara@mail.ru

Dmitry Viktorovich Rogozin,
Candidate of technical Sciences, associate professor, Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)
dim-1972@ya.ru

Yuriy Igorevich Bulygin,
Doctor of technical Sciences, Professor, Life and environment protection Department, Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)
bulyur_rostov@mail.ru

Oksana Olegovna Zabara,
Graduate student, Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)
oksana_zabara@mail.ru